

ENSAYOS DE INFORMACIÓN Y EXTRACCIÓN DE TESTIGOS EN UN HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

Lina ROJAS HENAO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

E.T.S.I Caminos, Canales y Puertos

Becario doctorado Cát. Edificación y Prefabricación

linarojas@caminos.upm.es

Jaime FERNÁNDEZ GÓMEZ

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

E.T.S.I Caminos, Canales y Puertos

Catedrático de Edificación y Prefabricación

jfernandez@caminos.upm.es

Juan Carlos LÓPEZ AGÜI

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Instituto Español del cemento y sus aplicaciones

(IECA)

Director

direccion@ieca.es

Este estudio tiene como objetivo evaluar si los ensayos de índice de rebote (IR), velocidad de ultrasonidos (VU) y la resistencia a compresión en probeta testigo, presentan el mismo comportamiento en los hormigones autocompactantes (HAC) que en los hormigones vibrados (HV). Para ello se han estudiado diferentes aspectos, tales como la influencia de algunas variables relacionadas con las probetas testigo, los tipos de ajuste utilizados para los ensayos de IR y VU, la influencia del nivel resistente en la relación entre la resistencia a compresión de probetas moldeadas cilíndricas y probetas testigo y el efecto que presenta el hormigonado a través de zonas de gran densidad de armadura.

hormigón autocompactante, resistencia a compresión, probeta testigo, índice de rebote, velocidad de ultrasonidos.

1. INTRODUCCIÓN

Dada la gran utilización del HAC en la industria de los prefabricados y la progresiva incorporación de éste en los hormigones in situ, es necesario conocer el comportamiento que presenta ante los métodos de ensayo destructivos y no destructivos más comúnmente utilizados, muy importantes para estimar la resistencia de elementos contruidos.

Estos métodos de ensayo han sido muy estudiados en el HV y sin embargo, no existen estudios suficientes sobre su adecuación al HAC, en el que por sus especiales características podrían comportarse de forma diferente.

La presente investigación pretende aportar información sobre algunos aspectos relacionados con los ensayos de IR, VU y la resistencia a compresión de probetas testigo en un HAC. Los resultados obtenidos han sido comparados con información de otros estudios previos en HV.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiales y proporciones de la mezcla

El HAC utilizado corresponde a una empresa de prefabricados Española, y forma parte de la producción habitual de sus diferentes piezas (Tabla 1). En la fabricación del HAC se ha utilizado

cemento Portland tipo I52.5R, tamaño máximo del árido de 12 mm y el rango de resistencias de las mezclas fue de 20 MPa - 80 MPa.

La consistencia del hormigón de cada bloque, medida a través del ensayo de escurrimiento, dio como resultado valores entre 665-750 mm. También se realizó el ensayo de la caja en L (con tres barras) obteniendo coeficientes de bloqueo (H_2/H_1) entre 0.83-0.95.

Tabla 1. Proporciones de la mezcla de HAC.

Árido fino (0-5 mm) kg/m ³	Árido grueso (6-12 mm) kg/m ³	Cemento kg/m ³	Aditivo L/m ³	Filler kg/m ³	Agua L/m ³	Relación A/C
800-943	720-840	330-420	5.5-6.5	150-200	150-190	0,38-0,55

2.2 Preparación de las muestras y procedimiento de ensayo

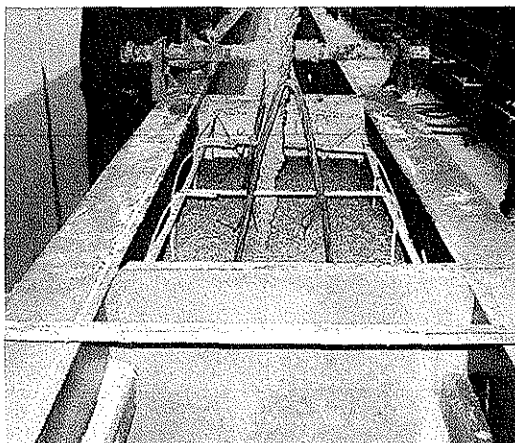
Con el hormigón descrito anteriormente se han fabricado 30 bloques de 500 x 500 x 1000 mm. De cada uno de los bloques se extrajeron 12 testigos, es decir, un total de 360 testigos para esta investigación.

Paralelamente a la ejecución de los bloques se han fabricado 90 probetas cilíndricas normalizadas de 150 x 300 mm, que posteriormente fueron ensayadas a compresión, según la norma EN 12390-3:2001, a la misma edad que las probetas testigo (28 días).

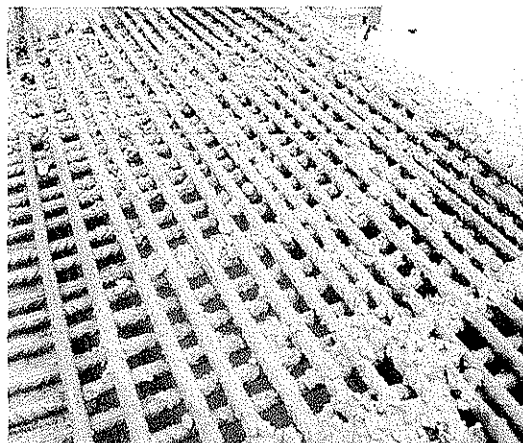
Para simular el hormigonado con altas cuantías de armadura, 14 de los 30 bloques fueron fabricados vertiendo el HAC a través de una malla de barras de 12 mm de diámetro con una cuadrícula de 20 x 20 mm situada sobre el borde superior del encofrado (Fig.1). Las condiciones de curado de los bloques y probetas moldeadas fueron las mismas, teniendo en cuenta condiciones similares a las que se presentan habitualmente en la práctica.

Antes de iniciar la extracción de los testigos, se realizaron seis ensayos de IR (tres en la cara lateral y tres en la cara inferior) con diez lecturas por ensayo y seis ensayos de VU (tres en dirección vertical y tres en dirección horizontal) con dos lecturas por ensayo en cada uno de los bloques. Las lecturas de estos ensayos fueron tomadas aproximadamente 120 horas antes del ensayo de resistencia.

A continuación, de cada uno de los bloques, se extrajeron doce probetas testigo, seis en sentido perpendicular (horizontal) y las otras seis en sentido paralelo (vertical) a la dirección de hormigonado. Los diámetros considerados fueron 50 mm, 75 mm y 100 mm, con una esbeltez de 2. Una vez extraídas las probetas, la mitad de ellas fueron sumergidas en agua durante 48 horas y las restantes estuvieron en condiciones secas en ambiente de laboratorio (Fig. 2).



a) Paso del hormigón sin restricción.



b) Paso del hormigón con restricción.

Figura 1. Hormigonado de las piezas de HAC.

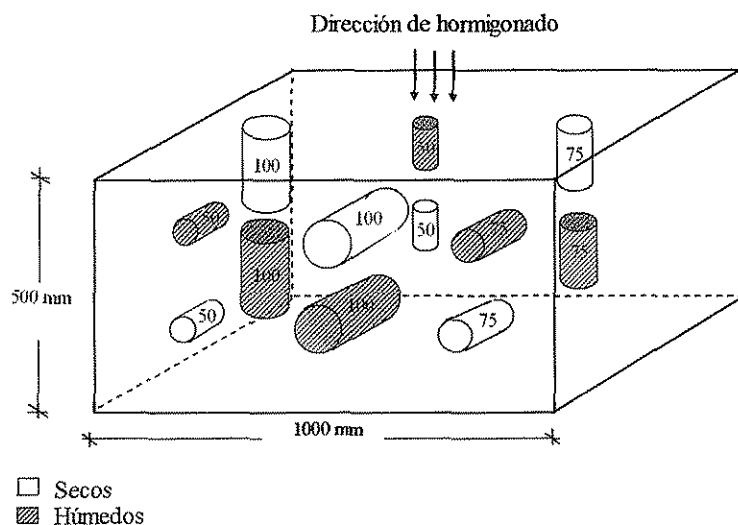


Figura 2. Esquema de la extracción de las probetas testigo.

3. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se indican los resultados experimentales obtenidos. Los valores de IR y VU mostrados son los promedios obtenidos para cada bloque. La resistencia a compresión de los testigos está clasificada según las diferentes variables estudiadas.

3.1 Efecto de las variables estudiadas en el ensayo a compresión de las probetas testigo

Son muchas las variables que influyen en el ensayo a compresión de las probetas testigo y que han sido investigadas en el HV. Se han seleccionado algunas de las variables que se consideran más importantes, con el fin de ser analizadas en HAC. Estas variables son el diámetro del testigo (*DIR*), el estado de humedad (*HUM*), la dirección de extracción (*DIR*), el nivel resistente y el paso del hormigón a través de una zona congestionada de armaduras (*REST*).

Tabla 2. Resultados de los ensayos.

Bloque	IR	VU (km/s)	$f_{c,tes}$ (MPa)												$f_{c,cil}$ (MPa)
			seco						saturado						
			Horizontal			Vertical			Horizontal			Vertical			
			50 mm	75 mm	100mm	50 mm	75 mm	100mm	50 mm	75 mm	100mm	50 mm	75 mm	100mm	
1	40.7	4.2	47.4	40.6	42.8	47.1	35.1	43.5	25.6	33.6	31.7	36.3	38.1	36.9	39.4
2	41.5	4.4	55.9	50.2	51.8	52.1	46.2	50.2	41.0	44.8	43.6	42.0	38.5	35.5	50.7
3	31.5	3.9	31.0	25.7	24.2	32.6	25.4	24.2	18.2	18.6	20.7	29.1	22.1	20.1	25.9
4	37.0	4.0	26.3	23.0	25.0	24.4	22.2	24.0	22.4	18.5	22.7	18.6	18.5	20.1	21.0
5	36.2	4.1	42.9	48.6	39.2	44.7	47.5	45.1	41.5	33.7	42.2	41.7	39.5	35.5	44.3
6	46.5	4.7	54.2	51.6	65.3	60.2	64	66.3	56.1	48.6	57.0	60.4	40.6	60.0	66.6
7	49.4	4.6	56.1	56.9	61.7	51.3	58.6	57.3	46.2	53.7	55.1	49.0	51.5	54.0	61.4
8	40.4	4.4	46.8	47.2	51.4	53.0	51.9	49.1	35.0	45.1	47.3	44.5	43.5	46.3	53.0
9	47.8	4.6	68.7	65.4	63.2	59.2	67.2	66.7	40.9	61.2	61.7	33.1	56.6	57.4	63.9
10	50.2	4.6	70.7	66.9	62.9	50.7	51.8	69.0	-	43.6	57.8	44.6	55.2	63.3	68.2
11	47.7	4.6	63.1	61.7	65.1	62.4	59.5	58.3	52.9	53.4	54.7	50.3	53.6	52.4	75.9
12	41.3	4.4	56.3	44.1	49.6	54.1	54.7	54.7	41.8	43.8	47.6	50.8	40.5	48.7	56.5
13	37.5	4.3	43.5	44.1	47.9	45.5	44	40.6	35.2	33.9	41.7	35.0	42.1	39.5	46.0
14	46.8	4.7	65.8	62.8	65.5	70.5	65.2	73.1	49.8	59.7	59.3	63.5	61.9	68.7	72.0
15	49.0	4.6	65.3	65.6	64.2	63.1	67.5	67.4	51.4	51.3	56.7	59.1	57.5	51.1	72.7
16	40.7	4.2	46.5	65.1	64.6	53.8	61.5	57.7	57.6	54.6	60.5	51.6	42.4	60.8	68.0
17	49.1	4.6	48.10	44.70	45.70	55.80	46.00	56.20	40.40	40.80	51.90	37.60	44.30	49.10	58.0
18	43.8	4.5	51.90	54.50	59.10	50.70	49.30	55.40	46.50	50.30	41.70	49.30	48.20	37.90	53.6
19	39.8	4.4	59.60	53.80	56.50	52.40	57.30	50.40	48.50	41.30	40.20	42.60	49.60	48.30	57.5
20	44.1	4.5	48.30	42.40	44.30	45.00	40.10	43.60	40.20	35.90	38.90	32.50	32.50	42.80	51.0
21	41.3	4.4	55.80	56.00	44.00	50.60	49.70	54.30	49.70	49.30	39.70	46.40	43.00	41.80	55.1
22	44.2	4.4	50.60	54.30	55.50	43.30	55.90	55.50	42.80	42.30	48.90	41.30	40.30	50.10	58.0
23	42.6	4.5	56.10	51.30	57.20	51.60	48.30	53.60	48.30	46.10	47.50	37.20	41.90	47.30	53.5
24	41.6	4.5	64.80	58.50	62.50	59.70	60.50	61.60	43.70	43.50	53.10	59.70	55.90	55.50	74.6
25	47.0	4.6	72.70	62.70	63.90	72.40	52.60	68.10	56.40	60.10	50.70	49.30	46.80	54.90	71.7
26	49.2	4.6	53.80	52.30	59.10	44.90	41.20	51.00	44.20	43.80	38.90	48.20	45.20	49.20	51.2
27	47.6	4.5	64.80	69.10	60.50	66.40	66.00	60.10	52.40	45.10	57.80	58.40	53.70	53.00	69.9
28	48.1	4.6	62.60	57.50	58.70	63.00	45.00	61.40	42.90	55.90	57.30	55.60	51.00	48.60	63.7
29	41.9	4.5	59.90	68.80	-	46.70	71.20	74.80	49.50	41.90	63.00	53.30	58.10	59.50	73.6
30	47.8	4.6	62.20	60.30	55.80	56.20	55.00	56.00	48.10	48.10	48.40	50.00	51.20	53.40	67.7

Nota: Los bloques del 1 al 16 fueron hormigonados sin ninguna restricción de armadura, los restantes si la tuvieron.

Se ha realizado una revisión de algunas investigaciones previas que obtuvieron resistencias relativas, en el HC, en función de las variables *DIR*, *HUM* y *DIAM* en el HV, el rango de valores obtenidos se muestra en la Tabla 3. Del mismo modo se han determinado estas resistencias relativas en el HAC, a partir de los valores medios de cada grupo de variables analizadas, para ser comparadas con el HV.

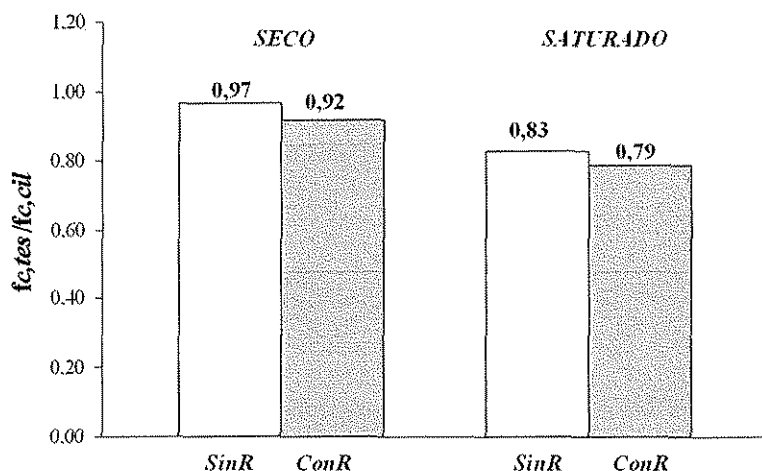
Tabla 3. Resistencia relativa para cada variable: DIR, HUM, DIAM.

Variable	Resistencia relativa	HV ⁽¹⁾	HAC
Dirección	$f_{c,V} / f_{c,H}$	5-10 %	$\leq 3 \%$
Estado de humedad	$f_{c,SEC} / f_{c,SAT}$	10-25 %	13-22 %
Diámetro	$f_{c,\phi 1} / f_{c,\phi 2}$	$\leq 6 \%$	$\leq 5 \%$

(1) Rango de valores de algunas investigaciones existentes [1], [2], [3], [4], [5].

En la Tabla 3 se observa que en el HAC estudiado los resultados de la resistencia entre las dos direcciones (horizontal y vertical) son prácticamente iguales, lo que no ocurre en el HV. En el caso del estado de humedad, en el HAC la resistencia en estado seco es superior a la resistencia en estado saturado entre un 13%-22%, valores que están dentro del rango obtenido por otras investigaciones realizadas en HV. Las diferencias encontradas entre los diámetros estudiados (50 mm, 75 mm y 100 mm), son inferiores al 5% en el HAC, prácticamente el mismo resultado obtenido para el HV por otras investigaciones.

En la Fig. 3 se muestra la resistencia relativa de la probeta testigo con respecto a la probeta cilíndrica y su relación con la restricción de armadura en el hormigonado. En este gráfico puede observarse que la diferencia de las resistencias relativas entre los bloques hormigonados sin restricción de armadura (*SinR*) y con restricción de armadura (*ConR*), es pequeña y no supera el 5% para cada condición de humedad. Nuevamente sobresale la diferencia de resistencias de los testigos en estado seco y saturado, la cual es aproximadamente del 15%.

**Figura 3. Efecto del hormigonado a través de zonas congestionadas de armaduras.**

3.2 Influencia del nivel resistente en la resistencia a compresión del testigo

La influencia del nivel resistente se estudia a través de la regresión lineal simple, en la cual se evalúa la respuesta de la variable explicada $f_{c,tes} / f_{c,cil}$ y la variable explicativa $f_{c,cil}$, resultando la siguiente expresión:

$$\frac{f_{c,tes}}{f_{c,cil}} = 1.141 - 0.0031 f_{c,cil} \quad (1)$$

La Fig. 4 muestra los resultados de estudios previos desarrollados por algunos investigadores en el HV, además, los resultados de resistencia en el HAC estudiado están representados por la línea de ajuste. Se observa que los valores correspondientes al HAC presentan la misma tendencia que los HV, donde la resistencia de la probeta testigo expresada en porcentaje de la obtenida en probeta moldeada cilíndrica, disminuye al aumentar el nivel de resistencia del hormigón. La gran diferencia radica en que la línea de tendencia del HAC está por encima de todos los puntos correspondientes al HV, lo cual puede explicarse por la mejor compactación del HAC.

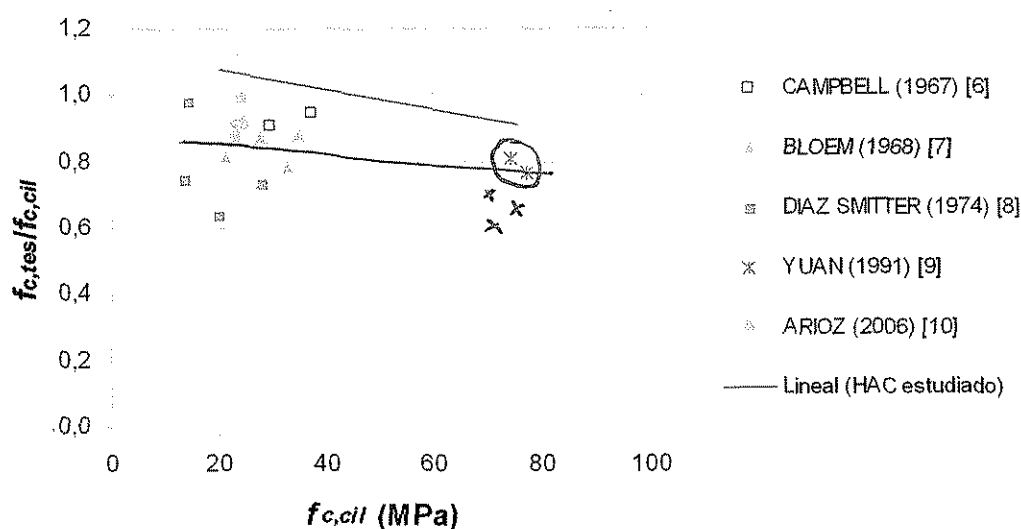


Figura 4. Nivel resistente en función de $f_{c,tes}/f_{c,cil}$.

3.3 Ensayos de IR y VU

El IR es un método de ensayo basado en la dureza superficial del hormigón. La información acumulada hasta la fecha evidencia que este método proporciona solamente una indicación aproximada de la calidad del hormigón y por lo tanto se considera como una técnica complementaria para la estimación de la resistencia a compresión in situ [1]. En la literatura la mayoría de correlaciones aplicadas al HV son de tipo lineal, sin embargo existen estudios donde los mejores ajustes obtenidos fueron de tipo exponencial (algunos de ellos están expuestos en la referencia [11])

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, se ha realizado un análisis de regresión lineal considerando tres tipos de ajustes aceptados para el HV. Estos se muestran en la Tabla 4 y se representan en la Figura 5.

Tabla 4. Estimación de la resistencia a compresión a través del IR en el HAC.

	Ecuación	Estadísticos (HAC)		
		Coef. correlación	R^2	F
1	$f_{c,tes} = -31.62 + 1.94 IR$	0.817	0.665	369.066
2	$f_{c,tes} = 0.0568 IR^{1.81}$	0.808	0.652	345.170
3	$f_{c,tes} = -101.09 + 5.27 IR - 0.039 IR^2$	0.822	0.673	191.515

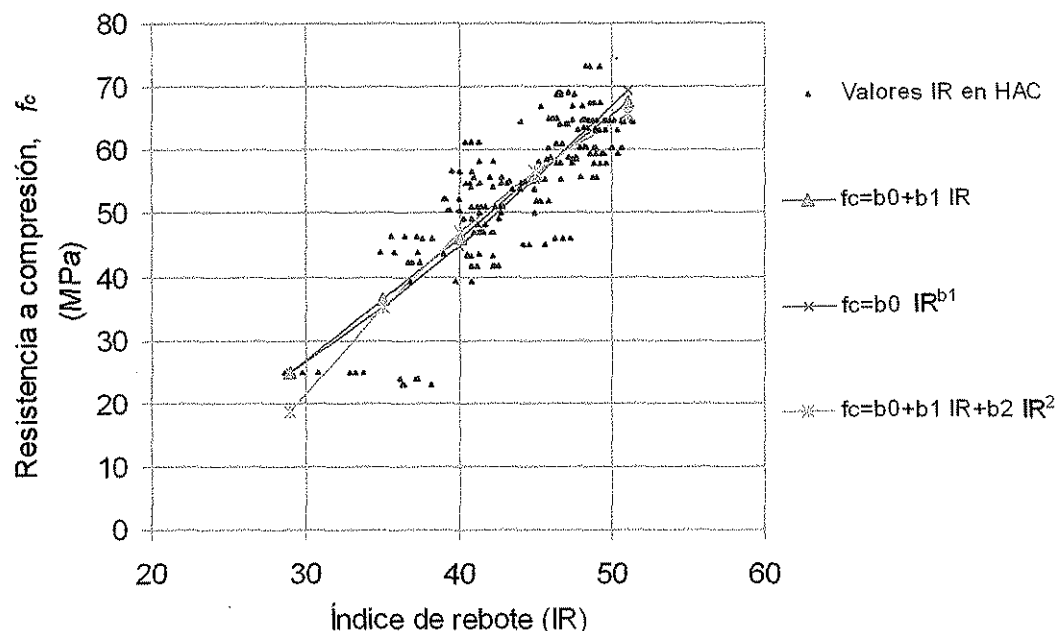


Figura 5. Relación entre el IR y la resistencia a compresión.

Los tres tipos de ajustes presentan un comportamiento similar para IR entre 35 y 50, para IR inferior a 35 el ajuste de tipo cuadrático difiere de los demás.

En relación con el ensayo de VU, se puede decir que presenta mayores ventajas que el ensayo de IR, debido a que éste no se ve afectado por la presencia de carbonatación ni por la proximidad superficial de los áridos y al mismo tiempo tiene la capacidad de detectar defectos en el interior del hormigón.

No existe un consenso sobre la mejor correlación entre la resistencia a compresión y la VU en un HV. Las Recomendaciones RILEM NDT 1 [12] señalan que las correlaciones más utilizadas son:

$$f_c = b_0 VU^{b_1}, \quad (4)$$

$$f_c = b_0 e^{b_1 VU}, \quad (5)$$

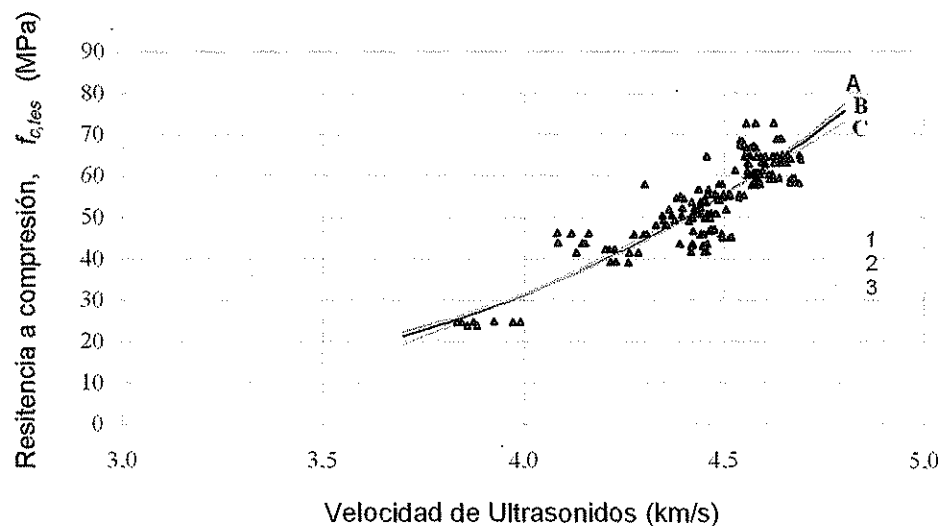
$$f_c = b_0 + b_1 VU + b_2 VU^2. \quad (6)$$

Considerando las expresiones anteriores, algunas basadas en transformaciones, se realiza un análisis de regresión simple con los resultados del HAC estudiado, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 5 y representados en la Fig. 6.

Los modelos representados en la Tabla 5 se consideran válidos para el HAC estudiado, debido a los buenos resultados de los estadísticos expuestos; lo anterior puede explicar la controversia que existe por encontrar un tipo de modelo único en la estimación de la resistencia en función de la VU en el HV. Para todas las expresiones descritas en la Tabla 5 el 76% de la variación de la resistencia a compresión puede explicarse por medio del ensayo de VU. En la Fig. 6 se puede observar con mayor claridad los buenos ajustes de las tres curvas de regresión, que por otra parte ofrecen resultados casi iguales en el intervalo 25-65 MPa.

Tabla 5. Estimación de la resistencia a compresión a través de la VU en el HAC.

	Ecuación	Estadísticos (HAC)		
		Coef. Var.	R^2	F
1	$f_{c,tes} = 0.038VU^{4.85}$	0,872	0,759	760,22
2	$f_{c,tes} = 0.35e^{1.12VU}$	0,870	0,756	738,17
3	$f_{c,tes} = 24.80 - 40.14VU + 10.46VU^2$	0,873	0,760	288,90

**Figura 6. Relación entre la VU y la resistencia a compresión.**

3.4 Estimación de la resistencia por el método combinado

Los ensayos de VU y del IR se utilizan de manera combinada para eliminar o disminuir de modo apreciable la influencia de algunos factores que alteran las correlaciones que se obtienen entre las medidas no destructivas y la resistencia a compresión. Entre dichos factores se encuentran el grado de madurez y el contenido de humedad del hormigón, y en menor grado, el tipo de árido y el tipo y dosificación de cemento. ACI 228.1R-03 explica que si dos métodos están influenciados de manera diferente por el mismo factor, su uso combinado da como resultado una cancelación de efectos que mejora la precisión de la estimación de la resistencia.

En general, no existe un consenso sobre el tipo de ajuste que debe presentar la resistencia a compresión en función del IR y la VU en el HV, la "Guidebook on non-destructive testing of concrete structures" [13] recopila algunas propuestas de algunos investigadores. El presente estudio ha utilizado las mismas propuestas y ha analizado el comportamiento de los resultados obtenidos en el HAC investigado, por medio del análisis de regresión múltiple. Los resultados se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Correlaciones propuestas para el HV y analizadas para el HAC.

Investigador	Ecuación	Estadísticos (HAC)		
		Coef. Var	R^2	F
McLeod	$f_{c,tes} = 141,74 + 0,52IR + 38,76VU$	0,851	0,721	235,205
Bellander	$f_{c,tes} = -129,55 + 0,0001IR^3 + 39,29VU$	0,853	0,724	238,382
Weibinga	$\log_e f_{c,tes} = 0,33 + 0,003IR + 0,44VU$	0,848	0,715	269,22
Schickert	$f_{c,tes} = 0,03IR^{0,26}VU^{4,26}$	0,850	0,719	274,37
Samarin, et al	$f_{c,tes} = 15,75 + 0,47IR + 0,12VU^4$	0,850	0,720	233,87
Tanigawa et al	$f_{c,tes} = VU(17,92 - 1,49IR + 0,05IR^2 - 0,0005IR^3)$	0,817	0,663	69,25

En general todos los modelos ofrecen un buen ajuste con los valores obtenidos para el HAC, aunque en menor medida el propuesto por Tanigawa et al. Para la mayoría de expresiones descritas en la Tabla 6 el 72% de la variación de la resistencia a compresión puede explicarse por medio de los ensayos de IR y VU.

4. CONCLUSIONES

De la investigación realizada pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- La dirección de extracción de los testigos en relación con la dirección de hormigonado no resulta influyente en el resultado de resistencia del hormigón autocompactante investigado. Esto confirma que los HAC presentan mayor homogeneidad que los HV en cuanto a la dirección de vertido, en los cuales esta diferencia sí es apreciable.
- El efecto de las variables diámetro y estado de humedad de las probetas testigo en el HAC estudiado, es similar a los HV analizados por otros investigadores. El diámetro del testigo presenta cierta influencia, pero no tan notable como la del estado de humedad. Las probetas testigo de diámetro 50 mm presentan mayores diferencias en la resistencia con respecto a las probetas de diámetro 7.5 mm y 100 mm, para la misma condición de humedad, dirección de extracción y capacidad de paso del hormigón. Las probetas testigo secadas al aire, tienen una resistencia a compresión promedio un 20% mayor que las probetas testigo saturadas en agua.
- El paso a través de la armadura en el HAC presentó una ligera influencia, no superior al 5%. Se comprueba la teoría relacionada con la capacidad que tiene el HAC de fluir por su propio peso a través de elementos con gran cantidad de armadura, dado que la malla de paso colocada suponía una restricción importante al paso del hormigón.
- La relación entre la resistencia en probeta testigo y moldeada en el HV y en el HAC, disminuye al aumentar el nivel de resistencia del hormigón. En el HAC, la resistencia de la probeta testigo supera en un 5% a la resistencia de la probeta moldeada, para niveles de resistencia menores e iguales a 40 MPa. Para resistencias entre 40 MPa y 60 MPa la resistencia de la probeta testigo es aproximadamente igual a la moldeada, y para resistencias mayores de 60 MPa la resistencia de la probeta testigo es un 7% menor que la moldeada. En el HV la relación entre la resistencia en probeta testigo y moldeada presenta valores diferentes a los encontrados en el HAC. Debido a la creciente utilización de los HAC, se recomienda que las normas que

contemplan la determinación de la resistencia del hormigón in situ, propongan coeficientes de paso particularizados para este caso.

- El ajuste de tipo lineal para la estimación de la resistencia a compresión a través del ensayo de IR, presentó un buen comportamiento en el HAC estudiado, tal como lo han tenido los HV, otro ajuste como el de tipo exponencial presentó una tendencia similar. En relación al ensayo de VU los modelos más usuales en el HV también son aplicables al HAC estudiado, suponiendo un buen ajuste de las expresiones habituales.

5. AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial al Laboratorio Central del Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (INTEMAC) y a la empresa PRAINSA por el apoyo en la parte experimental de este trabajo.

6. REFERENCIAS

- [1] FERNÁNDEZ, J. et al., "Evaluación de la capacidad resistente de estructuras de hormigón". *INTEMAC: Instituto técnico de materiales y construcciones*, 2001, 246 pp.
- [2] BUNGEY, J.H. "The testing of concrete in structures". *Surrey University Press*. Second Edition. London, 1989, 229 pp.
- [3] NEVILLE, A. "Properties of Concrete", *Addison-Wesley Longman*, UK, 1995, 844 pp.
- [4] CONCRETE SOCIETY. "Concrete core testing for strength". *The Concrete Society Technical Report 11*, London, 1976, 44 pp.
- [5] BARTLETT, F.M. and MACGREGOR, J.G. "Effect of moisture condition on concrete core strengths". *ACI Materials Journal* 91, 1994, pp. 227-236.
- [6] CAMPBELL R.H. y TOBIN R.E. "Core and Cylinder Strengths of Natural and Lightweight Concrete". *ACI Journal, Proceedings* 64, 1967, pp. 191-195.
- [7] BLOEM, D.L. "Concrete strength in structures". *ACI Journal, Proceedings* 65, 1968, pp. 176-187.
- [8] DIAZ DE SMITTER. "Strength measurement of concrete: cores versus cylinders". RILEM, IInd international symposium. Constanta, Rumanía, pp. 183-194, 1974.
- [9] YUAN, R.L. "Evaluation of core strength in high-strength concrete". *Concrete International* 13, 1991, pp. 30-34.
- [10] ARIÖZ et al., "A comparative study on the interpretation of concrete core strength results". *Magazine of Concrete Research*, Vol. 58, No. 2, 2006, pp. 117-122.
- [11] EVANGELISTA, A. C. et al., "Parameters that influence the results of non-destructive test methods for concrete strength". *International Symposium (NDT-CE 2003): Non-Destructive Testing in Civil Engineering*. 2003.
- [12] RILEM. NDT 1. "Testing of concrete by the ultrasonic pulse method". 1972.
- [13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. "Guidebook on non-destructive testing of concrete structures". *Training Course Series No. 17*. Vienna, 2002, 230 pp.